

# 纹理特征研究综述

孙君顶 马媛媛 (河南理工大学 计算机科学与技术学院 河南 焦作 454000)

**摘要:** 纹理广泛存在于自然界中,是所有物体表面所共有的内在特性,研究纹理有着重要的理论和应用价值。从纹理定义及分类两个方面,回顾了纹理特征研究的发展历程,分析了有关纹理的研究成果,并重点对纹理分析方法进行了较为全面的综述,最后给出了纹理研究的几个热点应用领域。

**关键词:** 纹理;纹理定义;研究成果;纹理分析方法;应用领域

## Summary of Texture Feature Research

SUN Jun-Ding, MA Yuan-Yuan

(School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Texture exists widely in nature and it denotes the inherent characteristics of the objects. It is very important to study texture in theory and application. This paper reviews and analyzes the research development, research results and analysis methods of texture features in detail. Finally some hot applications of texture research are given.

**Keywords:** texture; texture definition; the research results; texture analysis method; fields of application

纹理是一种不依赖于颜色或亮度变化的反映图像中同质现象的视觉特征,刻画了图像像素邻域灰度空间分布的规律。它是所有物体表面都具有的内在特性,不同物体具有不同的纹理,如云彩,树木,砖,织物等都有各自的纹理特征。纹理特征包含了物体表面结构组织排列的重要信息以及它们与周围环境的联系,人类的视觉系统对外部世界的感知有赖于物体所表现出的纹理特征。纹理分析则是计算机视觉和数字图像处理中的一个重要的研究课题,而如何获得其中的纹理特征是其中的重要环节。

纹理特征研究有着重要的理论和应用价值,一直是人们研究的热点,各种纹理分析方法层出不穷。在大量的文献阅读研究的基础上,本文回顾了纹理特征研究的发展历程,分析了其研究成果,最后给出了纹理研究的应用领域。

### 1 纹理的定义

由于纹理基元及其分布形态复杂多样,人们对纹

理的感觉和心理效果相结合,很难用语言文字来描述。尽管人们能很轻松地识别纹理,但对纹理很难有一个确切的定义。一般将组成纹理的基本元素称为纹理基元或纹元。

Coggins 收集了计算机视觉领域中一些经典的纹理定义<sup>[1]</sup>:

1) 纹理可以被认为是由肉眼可见的区域组成。纹理结构的简单特征是有重复图案的组成,在这些图案中的图元按一定的布局规则排列。

2) 如果图像的一组局部统计特征或者其他特征是不变的,变化缓慢的或者近似周期的,那么就认为图像区域含有不变的纹理。

Castleman 等人认为<sup>[2]</sup>:纹理是一种反映图像中一块区域的像素灰度级的空间分布属性,这种空间结构的固有属性可以通过邻域像素间的相关性刻画。

以上对纹理的描述已慢慢地被广大学者接受和应用。对纹理的认识或定义决定了纹理特征提取采用的方法,由于对纹理的定义不统一,一方面使纹理分析

基金项目:河南省国际合作项目(084300510065);河南省控制工程重点学科开放实验室开放课题基金(KG2009-14);河南省教育厅自然科学基金(2008B520015,2009B520013);河南理工大学博士基金(B050901);河南理工大学骨干教师资助基金

收稿时间:2009-10-12;收到修改稿时间:2009-11-19

中的问题更为复杂、更具有挑战性；另一方面，由于纹理本身具有多种属性特征使得图像的研究者们引入各种模型对纹理特征进行描述，使得对纹理的研究丰富多彩。

## 2 纹理的分类

纹理作为物体表面的一种基本属性，是描述和识别广泛存在于自然界中物体的一种极为重要的特征。

较为常见的纹理主要有以下三种类型(1)自然纹理。该种纹理是未经人工刻意加工的、在自然界中自然存在的物体表面属性，如云、烟、雾、木纹、砾岩、沙漠、草地纹理。这种纹理的基本组成元素形状多样、多数不规则，分布随机性较大。(2)人工纹理。该种纹理是人工参与的不同于自然存在物体表面属性的一种纹理，像器物表面的花纹、砖墙、织物、棋盘格格等。这种纹理的主要特点是纹理基本组成元素形状规则、确定、分布规律性比较强。(3)混合纹理。这种纹理主要是一些人工制造的纹理基本元素随机分布于物体表面或自然界形成的。

## 3 纹理的分析方法

纹理分析指的是通过一定的图像处理技术提取纹理特征，并获得纹理定性或定量描述的过程。常用的纹理分析方法有四种：统计分析方法、结构分析方法、模型分析方法和频谱分析方法。

### 3.1 统计分析方法

纹理特征，特别是自然纹理，在局部上表现出很大的随机性，可描述成一个随机变量。但从整体和统计意义上看，它也存在某种规律性。从区域统计方面去分析纹理图像的方法称为基于统计的分析方法，该类方法是利用图像的灰度空间分布情况来描述粗细度、均匀性、方向性等纹理信息。

较早提出并应用的一种统计方法是利用自相关函数<sup>[3]</sup>描述图像的纹理特征，Kaizeil 利用该方法对七类不同的面覆盖物的航空照片进行纹理分析与识别，获得了很好的效果。1976年，Weszka 提出了灰度差分直方图统计方法，该方法能描述图像灰度的空间组织信息，但对于不同的研究对象，需要选取不同的位移矢量，增加了处理图像的工作量。20世纪70年代早期 Haralick<sup>[4]</sup>等人提出了空间灰度共生矩阵法<sup>[5]</sup>，该方法首先对图像空间灰度分布进行统计，得出图像的共生矩

阵，其次依据定义在共生矩阵上的若干个纹理特征值进行计算，得到图像的纹理描述。由于共生矩阵模型方法不受分析对象的制约，能够很好地反映图像的空间灰度分布情况，体现图像的纹理特征，所以得到广泛应用。1976年，Weszka 等人<sup>[6]</sup>比较了 GLCM、灰度差分统计和灰度行程长度统计法，认为 GLCM 性能最优。在此基础上，洪继光等结合图像灰度信息及灰度变化的梯度信息，提出了灰度-梯度共生矩阵法<sup>[7]</sup>。该方法描述图像的特征除了利用灰度本身之外，还利用灰度变化的梯度信息。图像灰度大小构成了图像的基础，图像梯度则构成了图像轮廓、边缘的要素。赵珊等<sup>[8]</sup>将结构分析方法和统计分析方法相结合，并以方块编码为依据，提出了一种纹理基元的共生矩阵方法。

为了满足人类对纹理的视觉感知心理学的研究，1978年 Tamura 等人提出了用纹理的6种视觉特征来表示纹理。这种表示纹理的方法使表示的纹理性质具有直观的视觉意义。为描述中心像素与周围邻域像素之间的相对灰阶关系，盛文等<sup>[9]</sup>于2000年提出了一种基于纹理元灰度模式统计的图像纹理分析方法，与其它方法相比，该方法方便简单，计算量较少，越来越得到广泛应用。在基于纹理谱方法的基础上，2002年 Ojala T 等人<sup>[10]</sup>提出了 LBP(Local Binary Pattern)方法，该方法在纹理分类上效果显著，在医学图像处理及人脸识别等领域应用广泛。LBP 算法通过刻画图像中每个像素点与其邻域内其他各点的灰度值的差异来描述图像纹理的局部结构特征，该局部结构可以用一个二进制的数字来量化。在此基础上，Ojala T 等又提出了 uniform 纹理模式，该方法是当把二进制串看做一个圆时，串中从0到1以及从1到0的转换不超过2<sup>[11]</sup>。Ojala 通过实验得出这种模式包含了图像局部纹理的信息，可以有效地描述图像的大部分纹理特征，并明显减少特征的数量。为了更好地表达和分析随机纹理，Xie 和 Mirmehdi<sup>[12]</sup>于2007年提出了一种新的统计模型，称为纹理块(texture exemplars)或 texems。

### 3.2 结构分析方法

结构分析方法的基本思想是复杂的纹理可由简单的纹理基元以一定的有规律的形式重复排列组合而成。当纹理基元大到能够单独被分割和描述时，就要使用结构分析法。

1966年，Beck<sup>[13]</sup>以不同的英文字母作为纹理基元进行观察，发现纹理基元按不同方向分布影响着人

们对纹理的区分。在 Beck 发现的基础上, Bergen 和 Julesz<sup>[14]</sup>于 1983 年进行了一系列的精神物理实验,发现纹理基元的方向和纹理基元的密度都显著影响着人们对不同纹理的区分,同时,纹理基元的大小以及尺寸之间的对比,也对纹理的区分有着重要的影响<sup>[15]</sup>。这一系列的实验,从生理和心理的角度说明纹理图像可以分解为纹理基元,而结构分析方法就是按纹理基元的特性和其排列规则来描述的。

比较规则的纹理在空间中是以有次序的形式进行纹理单元的镶嵌,最典型的模式是用一种正多边形镶嵌而成,如由正三角形构成的模式等。另一种方法是利用 Voronoi 多边形,1990 年, Tuceryan M 和 Jain A.K<sup>[16]</sup>提出了基于 Voronoi 多边形的纹理分割,2001 年, Shapiro L 和 Stockman G<sup>[17]</sup>在计算机视觉中也提到 Voronoi 多边形。

Carlucci<sup>[18]</sup>提出了图状语法结构定义排列规则的纹理模型,该模型使用直线段、开放多边形和封闭多边形作为纹理基元。由于纹理结构的复杂性,图状语法结构比较简单, Lu 和 Fu<sup>[19]</sup>提出了树型语法结构表示纹理,将纹理按照 9\*9 的窗口进行分割,每个分解单元的空间结构表示一棵树。

结构分析方法的好处是纹理构成容易理解,适合于高层检索,描述规则的人工纹理。但对不规则的自然纹理,由于基元本身提取困难及基元之间的排布规则复杂,因此结构法受到很大的限制。

### 3.3 模型分析方法

基于模型<sup>[20]</sup>的方法假设纹理按某种模型分布,模型表示纹理元之间的关系,模型参数描述纹理元的特性。模型法<sup>[21,22]</sup>主要有随机场方法和分形法。

常见的随机场模型有 Markov、Gibbs 模型等。基于 Markov 随机场模型<sup>[23]</sup>的纹理分析方法把纹理看作一个随机的二维图像场,并且假定某一点取值与周围像素取值多少有关。近年来,Markov 随机场(MRF)模型<sup>[24]</sup>取得了很大的成功。但基于 Markov 随机场模型仅通过局部特征很难得到全局的联合分布,于是提出了 Sivakumar 的 GRF(Gibbs 随机场)模型<sup>[25]</sup>,该模型通过集团势能的概念,利用局部的计算获得全局的结果。Cohen 等<sup>[26]</sup>最先使用高斯马尔可夫模型(GMRF),在检验过程中,被视为假设检验的问题源自高斯马尔可夫模型(GMRF)。自回归纹理模型(simultaneous auto-regressive, SAR)是 MRF 模型的一

种应用实例。在 SAR 模型中,每个像素的强度被看成随机变量,可以通过其相邻的像素来描述。另外,SAR 的一种变化称为旋转无关的自回归纹理模型<sup>[27]</sup>(rotation-invariant SAR 或 RISAR),它具有和图像的旋转无关的特点。定义合适的 SAR 模型需要确定相邻像素集合的范围。可是,固定大小的相邻像素集合范围不能很好地表达各种纹理特征。为此,经研究得到了多维度的自回归纹理模型<sup>[28]</sup>(multiresolution SAR 或 MRSAR),该模型能够在多个不同的相邻像素集合范围下计算纹理特征。Markov 随机场模型虽然在图像建模方面有很大的成功,但也存在很多缺点:一方面,对随机场的均匀性假设和实际中大多图像不符,另一方面,Markov 随机场模型缺乏先验知识通常不能满意地表达图像的结构成分。Bennett 等人<sup>[29]</sup>在分析比较 MRF 模型和 SAR 模型的基础上,提出一种广义长相关模型(GLC),描述了该模型与 SAR 模型和 MRF 模型之间的关系,称 SAR 模型和 MRF 模型是 GLC 模型的特殊形式,该模型可以对低频纹理图像即具有长相关性质的纹理图像进行很好的建模。

由于自然纹理具有不同尺度下的自相似性,因此分形模型也广泛应用于纹理分析。1975 年, Mandelbrot 提出了用分形来描述事物的自相似性,表达一些没有特征长度,有无限精细结构的图形、构造和现象。较常用的一类分形模型是分形布朗运动模型<sup>[30]</sup>(Fractal Brown Motion, FBM)。通过分形理论来进行纹理分析应特别注意不同的求分维数的方法可能会有不同的结果。

### 3.4 频谱分析方法

频谱法主要借助于频率特性来分析纹理特征。频谱法是建立在多尺度分析基础上的纹理分析方法,主要有小波变换、Gabor 变换。

Mallat 在 1989 年首先提出小波变换方法,随后各种小波变换相继用于提取纹理特征。近年来出现了许多针对小波分析在纹理特征提取方面应用的研究成果<sup>[31,32]</sup>。为确定方向归一化图像,2007 年安志勇等<sup>[33]</sup>提出了基于 Radon 和小波变换的图像纹理特征检索算法,主要思想是对原始图像的坐标系进行旋转校正,接着对归一化后的图像进行 Radon 变换,构造一个具有尺度和平移不变性的小波分解,用图像中各尺度小波系数的能量值作为图像的纹理特征进行检索。随后该作者等<sup>[34]</sup>于 2008 年提出了采用各尺度的

小波能量值描述图像纹理特征,该思想是根据角向矩极大原理对检索图像进行坐标校正,得到图像旋转不变的表示;再利用平移和尺度不变小波对检索图像进行分解,得到具有平移、旋转和尺度不变的小波分解系数;结果用各尺度的小波能量值来表达图像的纹理特征。2007年,Lin<sup>[35]</sup>使用一层哈尔小波变换分解表面障碍层切片的图像,从正常样本和测试样本进行统计比较的基础上通过 Hotelling, Mahalanobis, 和卡方(Chi-square)距离提取小波特征。Truchetet 和 Laligant<sup>[36]</sup>于 2008 年对小波分析在工业中的应用作了非常详细的回顾。

1964年,Gabor 博士针对 Fourier 变换存在不能同时进行时间、频率局部分析的缺点,提出了一种加窗 Fourier 变换方法,即 Gabor 函数。Gabor 函数具有极佳的空间/频域联合分辨率,因此在实际中获得了较广泛的应用。Gabor 滤波器可以看成是方向、尺度可调的边界和直线检测器,所以可以通过 Gabor 滤波器检测出图像中不同方向和角度上的边缘和线条,以提取图像中的纹理特征。针对 Gabor 变换,许多研究者先后进行了深入的研究。1991年,Jain<sup>[37]</sup>对一组滤波后的图像使用一组偶对称 Gabor 滤波器逐步进行线性变换,从 20 个滤波器中选出 11-13 个滤波器对纹理图像进行分割,得到了很好的分割效果。1995年,Alexandrov 等人<sup>[38]</sup>采用 120 个滤波器(10 种尺度 12 种方向)输出能量的均值和标准差,构成 240 维的纹理特征向量来进行图像检索,取得了较理想的结果。与 Jain 使用的滤波方法相比,该方法采用较多的滤波器,使提取的纹理特征向量更加具体准确,能更好地进行特征匹配,但它提取特征向量的维数较高,计算量太大。Manjunath 等<sup>[39]</sup>于 1996 年针对这一缺点提出了改进方法,首先消除系列 Gabor 滤波器的冗余度,又设计了一种自适应滤波器选择方法,使计算量大大降低,随后以 Gabor 变换系数的均值和方差为纹理特征进行图像检索。2008年,范一群和战荫伟<sup>[40]</sup>利用方向滤波器组和 Gabor 滤波器,设计了一种指纹图像增强算法,该算法能使图像的纹理线变得更加清晰,同时指纹的破损处得以连接,增强后的指纹效果较好。

## 4 纹理分析的应用

### 4.1 目标识别与分析

纹理应用于目标识别与分析领域主要有两大类:

一是目标表面特性分析;二是目标区域分割识别。由于物体表面的纹理特征在一定程度上反映了该物体的一些特性及其变化,因此分析表面纹理是获取物体信息的重要方法<sup>[41]</sup>。目标区域分割与识别问题,一般要经过纹理特征选择、特征提取、特征整合和聚类分析几个步骤,将纹理图像分类或区域分割问题转化为一般图像分类或图像分割问题<sup>[42-44]</sup>。

### 4.2 纹理合成

纹理合成源于计算机图形学中的纹理映射,主要针对给定一个纹理样本,提取特征参数,在更大范围内进行物体表面的纹理填充、无缝纹理拼接等工作<sup>[45,46,47]</sup>而提出的。纹理的合成方法是首先了解样本纹理的基元及其排布规则,利用数学模型进行高层语意角度的描述,然后根据该模型在更大的范围内,生成有相同纹理特征的图像区域。具体方法有基于选样和全局统计两种方法。基于选样的方法和局部条件概率密度函数的描述有关,主要有基于 MRF 的 Gibbs 选样、基于已合成像素的非参数选样、近邻搜索等。基于全局统计的纹理合成方法是通过匹配特征向量的联合直方图来产生候选样本,常用小波分解、Gaussian 金字塔、控向金字塔、Laplacian 金字塔等方法。

### 4.3 图像检索

随着因特网和多媒体技术的迅速发展,图像的数目和种类越来越多,为了更快速高效地搜索和使用这些图像,需要一个功能强大性能很好的图像检索工具,纹理同颜色、形状一样,由于它表征了图像的外貌特征,是基于内容的图像检索方法中一种重要的用于描述和检索图像的特征。在利用纹理进行图像检索时,需要首先对目标图像的纹理特征进行描述分析,其次在图像库中对检索图像进行相同的纹理特征描述,接着进行特征匹配,以期得到在纹理特征层次上相似的图像<sup>[48,49]</sup>。

### 4.4 运动分析

当目标与摄像机之间存在相对运动时,图像中的一些特定纹理特征会发生相应的变化,检测并描述这种变化就有可能描述两者之间的相对运动。基于纹理的运动分析主要有以下两种方法:基于时空序列图像切面纹理的运动分析和基于空间图像纹理特征变化的运动信息描述<sup>[50,51]</sup>。

## 5 结语

纹理一直是计算机视觉及模式识别领域研究的一

个基本问题,经过近半个多世纪的研究,对纹理的研究取得了丰硕的成果,一些概念和理论取得了一致的看法,对纹理的一些基本特性取得了统一认识。本文总结了近年来有关纹理的一些研究成果,从纹理的定义、分类、分析方法入手,讨论了有关纹理研究的现状以及纹理研究的应用情况。

### 参考文献

- 1 Coggins JM, Jain AK. A spatial filtering approach to texture analysis. *Pattern Recognition*, 1985,3:195 - 203.
- 2 Castleman K R.朱志刚等译.数字图像处理.北京:电子工业出版社,2002.
- 3 Sklansky J. Image segmentation and feature extraction. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1978,8(5):237 - 247.
- 4 Haralick RM. Statistical and structural approaches to texture. *Proc. of the IEEE*, 1979,67(5):786 - 804.
- 5 Haralick RM, Shanmugam K, Its hak Dinstein. Texture Features for Image Classification. *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, 1973,SMC-3(6):610 - 621.
- 6 Weszka JS, Dyer CR, Resenfeid A. A comparative study of texture measures for terrain classification. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*. 1976,6(4):269 - 285.
- 7 洪继光.灰度-梯度共生矩阵纹理分析方法.自动化学报,1984,10(1):22 - 25.
- 8 孙君顶,赵珊.图像低层特征提取与检索技术.电子工业出版社,2009.
- 9 盛文,杨江平,柳建,吴新建.一种基于纹理元灰度模式统计的图像纹理分析方法.电子学报,2000,28(4):74 - 77.
- 10 Ojala T, Pietikainen M, Maenpaa T. Multiresolution gray scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002,24: 971 - 987.
- 11 周明全,耿国华,韦娜.基于内容图像检索技术.北京:清华大学出版社,2007.
- 12 Xie X, M Mirmehdi. TEXEM: Texture exemplars for defect detection on random textured surfaces. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2007,29 (8):1454 - 1464.
- 13 Beck J. Effect of orientation and of shape similarity on perceptual grouping. *Perceptual psychophysics*, 1966,1(7):300 - 302.
- 14 Bergen JR, Julesz B. Parallel versus serial processing in rapid pattern discrimination. *Natural*, 1983,303(7): 696 - 698.
- 15 Bergen JR, Adelson EH. Early vision and texture perception using feature distribution. *Pattern Recognition*, 1999,32(3):447 - 486.
- 16 Tuceryan M, Jain AK. Texture segmentation using Voronoi Polygons. *IEEE Trans on PAMI*, 1990,12: 211 - 216.
- 17 Shapiro L, Stockman G. *Computer Vision*. Prentice Hall, 2001.
- 18 Carlucci L. A formal system for texture languages. *Pattern Recognition*, 1972,5(1):53 - 72 .
- 19 Lu SY, Fu KS. A Syntactic Approach to Texture. *Analysis. CGIP*, 1978,7:303 - 330.
- 20 Ma WT, Zhang HJ. Benchmarking of image features for content-based retrieval. *Signals, Systems& Computers. Conference Record of the Thirty-Second Asilomar Conference, Pacific Grove, USA*, 1998,1: 253 - 257.
- 21 Cross GR, Jain AK. Markov random field texture models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1983, 5(1):25 - 38.
- 22 Francos JM, Meiri AZ, Porat BA. Unified texture model based on a 2D wold-like decomposition. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 1993,41(8):2665 - 2678.
- 23 Yokoyama R, Haralick RM. Texture Pattern Image Generation by Regular Markov Chain. *Pattern Recognition*, 1979,11:225 - 234.
- 24 Timo O, Matti Pietikainen, Topi M. Multisolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002,7:971 - 987.
- 25 Geman S, Geman D. Stochastic relaxation Gibbs distribution and the Bayesian restoration of

- images. *IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell*, 1984,16:721 - 741.
- 26 Cohen F, Fan Z, Attali S. Automated inspection of textile fabrics using textural models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991,13(8):803 - 809.
- 27 Mao J, Jain AK. Texture classification and segmentation using multiresolution simultaneous autoregressive models. *Pattern Recognition*, 1992,25(2):173 - 188.
- 28 Luo J, Savakis AE. Self-supervised texture segmentation using complementary types of features. *Pattern Recognition*,2001,34(11):2071 - 2082.
- 29 Bennett J, Khotanzad A. Modeling textured images using Generalized Long Correlation Models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998,20(12):1365 - 1375.
- 30 Kapan LM, Kuo CC. Extending self-similarity for fractional brownian motion. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1994,42(12):3526 - 3530.
- 31 吴均,赵志明.利用基于小波的尺度共生矩阵进行纹理分析. *遥感学报*, 2001,5(2):100 - 103.
- 32 Scharcanski J. Stochastic texture analysis for monitoring stochastic processes in industry. *Pattern Recognition Letters*, 2005,26:1701 - 1709.
- 33 安志勇,王晓华,赵珊,等.一种图像纹理特征检索算法. *西安电子科技大学学报*, 2007,34(3):409 - 413.
- 34 安志勇,曾智勇,赵珊,等.基于纹理特征的图像检索. *光电子激光*, 2008,19(2):230 - 232.
- 35 Lin H. Automated visual inspection of ripple defects using wavelet characteristics based multivariate statistical approach. *Image and Vision Computing*, 2007,25:1785 - 1801.
- 36 Truchetet F, Laligant O. A review on industrial applications of wavelet and multiresolution based signal-image proc. *Journal Electronic Imaging*, 2008.
- 37 Jain AK, Farrokhnia F. Unsupervised texture segmentation using Gabor filters. *Pattern Recognition*, 1991, 24(12):1167 - 1186.
- 38 Alexandrov AD, Ma W, Abbadi A, et al. Adaptive filtering and indexing for image databases, *SPIE*, 1995,2420:12 - 23.
- 39 Manjunath BS, Ma WY. Texture features for browsing and retrieval of image data. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996,18(8):837 - 842.
- 40 范一群,战荫伟.基于方向滤波器组和 Gabor 滤波器的指纹增强方法.第十四届全国图象图形学学术会议论文集, 2008.
- 41 靳宏磊,张振华,李立源等.基于纹理分析的表面粗糙度等级识别. *中国图象图形学报*, 2000,5(6):612 - 615.
- 42 芦亚亚,丁维龙,王杰,张维统.自然场景下果实目标的识别和定位. *浙江工业大学学报*, 2007,35(3):267 - 273.
- 43 韩彦芳,施鹏飞.基于多层小波和共生矩阵的纹理表面缺损检测. *上海交通大学学报*, 2006,40(3):425 - 430.
- 44 陈玲,沈红标,李咸伟,刘其真.改进的图像纹理检索方法在矿石识别中的应用. *中国图象图形学报*, 2006,11(11):1700 - 1703.
- 45 Coda G, Interrante V, Sapiro G. Texture synthesis for 3D shape representation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2003,9(4):512 - 524.
- 46 Bar-Joseph Z, El-Yaniv R, Lischinski D, et al. Texture mixing and texture movie synthesis using statistical learning. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2001,7(2):120 - 135.
- 47 Pei SC, Zeng YC, Chang CH. Virtual restoration of ancient Chinese paintings using color contrast enhancement and lacuna texture synthesis. *IEEE Transactions on Image Proc.*, 2004,13(3):416 - 429.
- 48 李清勇,胡宏,施智平,史忠植.基于纹理语义特征的图像检索研究. *计算机学报*, 2006,29(1): 116 - 123.
- 49 谢薇娜,周昌乐,徐丹,许家佗.基于颜色纹理的图像多特征检索技术在中医舌诊中的应用研究. *中国图象图形学报*, 2005,10(8):992 - 998.
- 50 Ngo CW, Pong TC, Zhang HJ. Motion analysis and segmentation through spatiotemporal slices processing. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2003,12 (3):341 - 355.
- 51 刘晓民,朱枫.基于纹理的视觉伺服研究. *仪器仪表学报*, 2006,27(6):738 - 740.